

Funktionsnachweis für Bentonitmatten in Deponieoberflächenabdichtungen

Physikalische Vorgänge bei der Austrocknung und der Risschließung dünner Bentonitschichten

Antje Müller-Kirchenbauer, Werner Blümel

1 Einleitung

Bentonitmatten sind in geschichteten Oberflächenabdichtungen ein Ersatzelement für die mineralische Dichtungsschicht. Aufgrund ihrer geringen Dicke und der hohen Empfindlichkeit des Bentonits gegenüber Wassergehaltsschwankungen sind sie ein äußerst sensibles geotechnisches Bauelement. Eine wichtige Rolle spielt dabei die Fähigkeit der Bentonitmatten, unter bestimmten Randbedingungen nach Austrocknung und Rissbildung wieder zu einer anforderungskonformen Dichtungswirksamkeit zurückzufinden.

Zur Untersuchung der Abdichtungseigenschaften von Bentonitmatten unter atmosphärischen Einwirkungen kommen neben großflächigen Testfeldern Lysimeter in Betracht, die sich bei experimentellen Untersuchungen in der Bodenkunde und Hydrologie bewährt haben. Eine solche Anlage wurde im Jahr 1998 in Lemförde im Westen Niedersachsens installiert, um dort die Auswirkungen von klimatisch bedingten, zyklischen Austrocknungs- und Wiedervernässungsphasen auf das Abdichtungsverhalten von Bentonitmatten untersuchen zu können. Es wurden verschiedene Systemvarianten erstellt.

Die Überdeckung der Bentonitmatten mit Erdstoff wurde bezüglich der Schichtmächtigkeit und der daraus resultierenden Auflastspannung sowie deren Wasserdurchlässigkeit variiert. Die Ergebnisse zeigen, dass eine Überschüttung mit einer rd. einen Meter dicken, locker gelagerten Sandschicht einen langfristigen Austrocknungsschutz der Bentonitmatte zur Folge hat. Bei mit schluffigem Material überschütteten Bentonitmatten zeigt sich hingegen, dass das in der bindigen Rekultivierungsschicht gespeicherte Wasser zeitweise nicht die Bentonitmatte erreicht und diese insofern einer phasenweisen Austrocknung mit Rissbildung unterliegt.

Es wurden anhand der im Lysimeter gemessenen Wassermengen Wirkungsgrade der Bentonitmatte und des gesamten Oberflächenabdichtungssystems definiert und berechnet. Die Wirkungsgradanalysen zeigen die Reversibilität der Dichtungswirkung nach Austrocknung und Wiedervernässung für die Bentonitmatten in Systemen mit ausreichender Auflast. Für Lysimeter mit kleineren Überdeckungshöhen ist eine Abnahme der Dichtungswirkung insbesondere nach langen sommerlichen Trockenperioden festzustellen. Die bodenmechanischen Effekte, die zur Trockenrissbildung bei Wiedervernässung führen, wurden durch experimentelle und numerische Zusatzuntersuchungen eingegrenzt.

2 Untersuchungen im Lysimeter

2.1 Allgemeines

Ein Lysimeter modelliert im hydrologischen Sinne ein geschlossenes Gebiet. Aus den Wasserhaushaltsgrößen ergibt sich für einen Lysimeterversuch ohne Oberflächenabfluss ($A_O = 0$) die vereinfachte Wasserhaushaltsgleichung, in welcher die Interzeption vernachlässigt wird zu:

$$N-ET-(DS+DA)-\Delta S = 0$$

Hierin sind:

N: Niederschlag

ET: Evapotranspiration

DA: Dränagewasserabfluss

DS: Durchsickerungswasserabfluss

S: Bodenwasservorrat

Es wurden sechs Lysimeter (Benennung: Lysimeter 1 bis 6) innerhalb eines Erdhügels installiert. Im Inneren des Hügels ist ein Raum integriert, welcher die Einrichtungen zur Messung der Niederschlags-, Drainage- und Durchsickerungswassermengen enthält. Bild 1 zeigt schematisch die aktuellen Systemaufbauten, insbesondere die Variation der Überdeckung der Bentonitmatten bezüglich der Schichtmächtigkeit und der daraus resultierenden Auflastspannung sowie deren Wasserdurchlässigkeit.

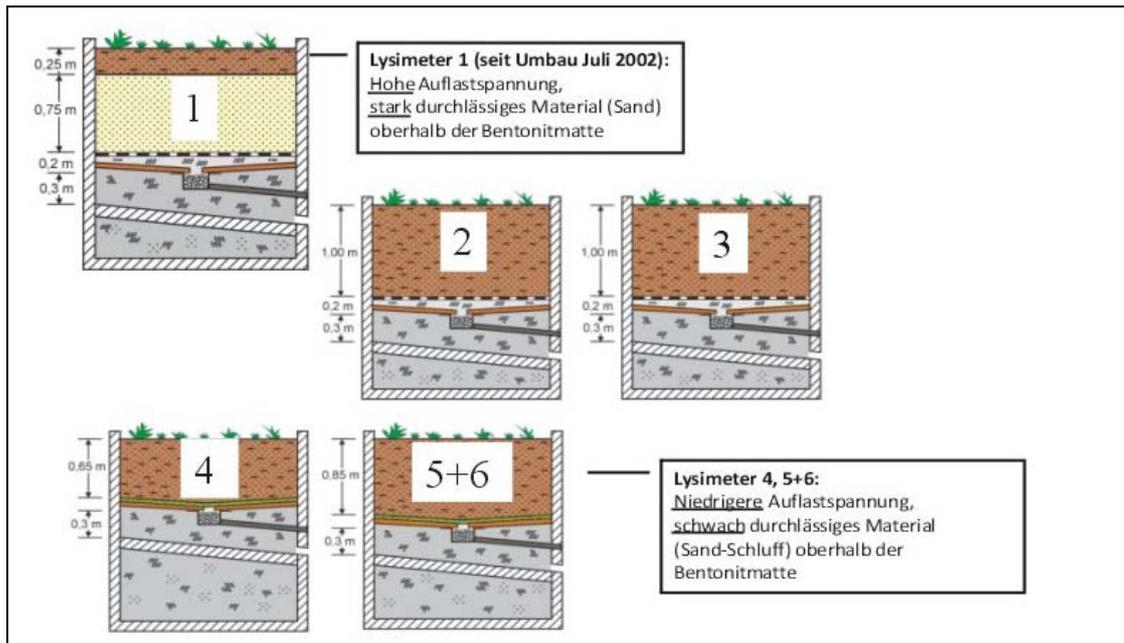


Bild 1: Systemaufbauten der Lysimeter 1 bis 6

Nachfolgend wurden die deponietechnisch relevanten Kennwerte der eingebauten Böden zusammengestellt.

Lysimeter 1 (vor dem Umbau) und 2 bis 6:

Bodenart:	schluffiger Sand (S, u)
Glühverlust:	2,6 %
Porenanteil:	0,35
Trockendichte:	rd. 1,7 g/cm ³
Korndichte:	2,65 g/cm ³
Durchlässigkeit:	rd. 10 ⁻⁷ m/s
Einbauwassergehalt:	rd. 15 %
Kalkgehalt:	< 1 %
Nutzbare Feldkapazität:	17 %

Lysimeter 1 (nach dem Umbau):

Bodenart:	Mittelsand, grobsandig, (mS, gs)
Glühverlust:	0 %
Porenanteil:	0,52
Trockendichte :	rd. 1,3 g/cm ³
Korndichte	2,60 g/cm ³
Durchlässigkeit	rd. 10 ⁻³ m/s
Einbauwassergehalt:rd.	0,1 %
Kalkgehalt:	< 1 %
Nutzbare Feldkapazität:	rd. 9 %

Tabelle 1 enthält Angaben zu den Bentonitmatten in den Lysimetern. Das seinerzeit dichtungstechnisch leistungsstärkste Produkt mit der Bezeichnung BFG 5000 wurde im Lysimeter 2 installiert. Die Produkte mit der Kennung NSP 4900-1 und NSO 4900-3 unterscheiden sich dadurch, dass das Bentonit bei der Matte mit der Endung –1 in Pulverform und bei der Matte mit der Endung –3 als Granulat eingearbeitet wurde.

Tabelle 1: Ausgewählte Produktdaten der Bentonitmatten in den Lysimetern 1 bis 6

Bezeichnung	NSP 4900-1	BFG 5000	NSP 4900-3
Lysimeter Nr.	1, 4, 5, 6	2	3
Oberes Geotextil	Material: Vliesstoff Masse: 220 g/m ²	Material: Vliesstoff (bentonitimprägniert) Masse: 300 g/m ²	Material: Vliesstoff Masse: 220 g/m ²
Bentonitlage	Material: Natriumbentonit (Pulver) Masse: 4670 g/m² Quellvolumen: 24 ml/2g Wassergehalt: rd. 10 %	Material: Natriumbentonit (Pulver) Masse: 5000 g/m² Quellvolumen: 24 ml/2g Wassergehalt: rd. 10 %	Material: Natriumbentonit (Granulat) Masse: 4500 g/m² Quellvolumen: 24 ml/2g Wassergehalt: rd. 10 %
Unteres Geotextil	Material: Gewebe Masse: 110 g/m ²	Material: Gewebe Masse: 200 g/m ²	Material: Gewebe Masse: 110 g/m ²
Verbindung	vernadelt	vernadelt	vernadelt

2.2 Ergebnisse der Messungen

Bild 2 zeigt die über den Messzeitraum aufsummierten Wassermengen des Niederschlags, des Drainageabflusses und der Durchsickerung beispielhaft für die Lysimeter 1 bis 3. Die y-Achse wurde dabei logarithmisch skaliert, um die sehr unterschiedlichen Werte der Wassermengen in einem Diagramm darstellen zu können. Weiterhin wurden in dieser Grafik die summierten Wassermengen bei Annahme einer Jahresdurchsickerung von 10, 20 und 30 mm/a dargestellt. Der in den aktuellen Regelwerken festgelegte Grenzwert beträgt 20 mm Jahresdurchsickerung. Während sich die Durchsickerungen der Lysimeter 1, 2 und 3 dauerhaft unter diesen Grenzwerten bewegen, werden bei den hier nicht grafisch dargestellten Ergebnissen der Lysimeter 5 und 6 die summierten Durchsickerungen von 20 mm/a nach drei bis sechs Jahren überschritten. Bei Lysimeter 4 wird die summierte Durchsickerung von 10 mm/a nach rd. sechs Jahren überschritten.

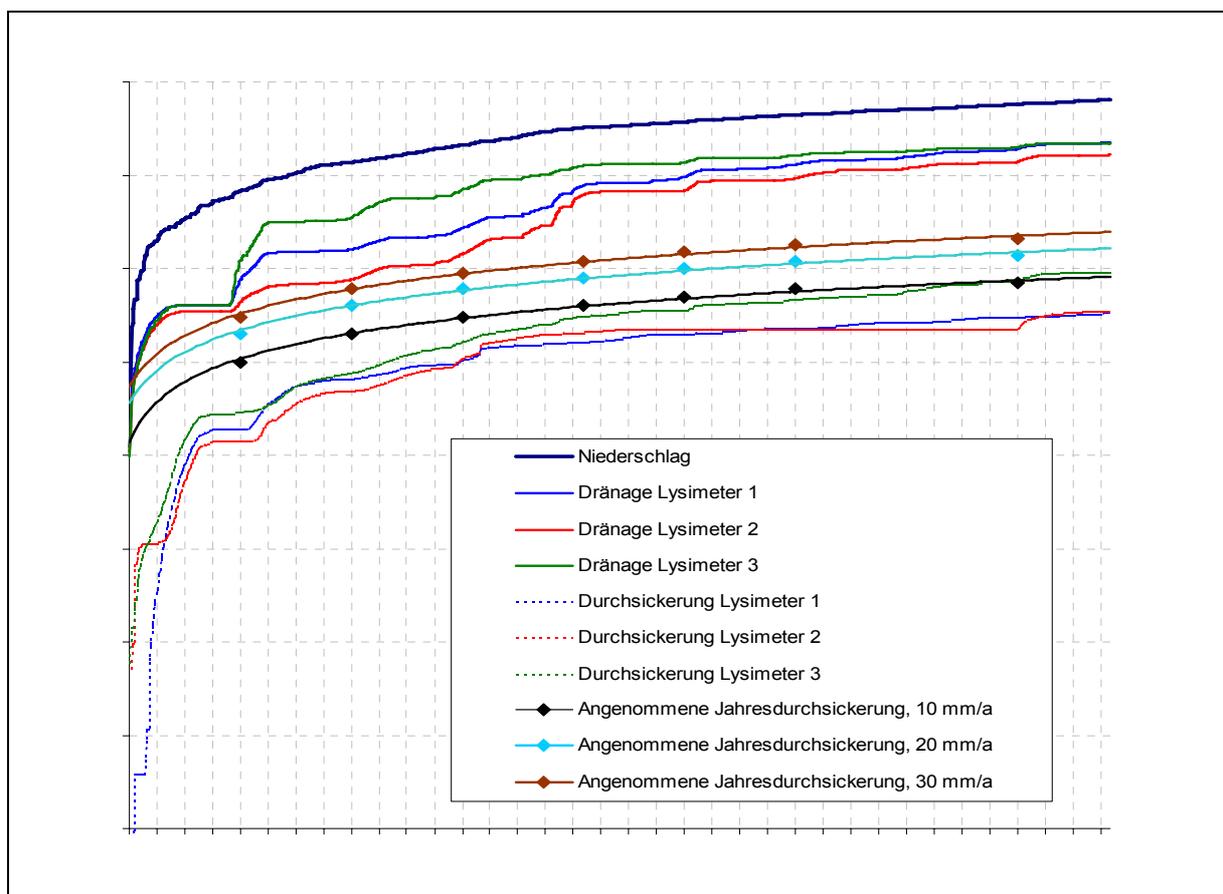


Bild 2: Wassermengen des Niederschlags, des Drainageabflusses und des Durchsickerungswasserabflusses für Lysimeter 1 bis 3 (oben) in halblogarithmischem Maßstab sowie kumulierte Wassermengen bei Annahme von 10 bis 30 mm Jahresdurchsickerung zum Vergleich

Tabelle 2 zeigt zusammenfassend die Ergebnisse der nunmehr annähernd ein Jahrzehnt umfassenden Messungen von Niederschlag, Drainageabfluss und Durchsickerung.

Tabelle 2: Drainageabfluss DA und Durchsickerung DS der Lysimeter bezogen auf den Niederschlag N für den gesamten Messzeitraum sowie jeweils nur für die Sommer- und nur für die Winterhalbjahre bezogen auf den Niederschlag bis Ende Oktober 2007

Zeitraum	Gesamter Messzeitraum (Sommer- und Winterhalbjahre, rd. 9 Jahre für Lysimeter 1 bis 3 rd. 6,5 Jahre für Lysimeter 4 bis 6)		Gesamter Messzeitraum (nur hydrologische Sommerhalbjahre)		Gesamter Messzeitraum (nur hydrologische Winterhalbjahre)	
	DA [% von N]	DS [% von N]	DA [% von N]	DS [% von N]	DA [% von N]	DS [% von N]
Lysimeter 1	34,8	0,5	15,8	0,5	58,5	0,5
Lysimeter 2	25,1	0,5	6,6	0,3	48,2	0,8
Lysimeter 3	33,9	1,4	8,0	0,8	66,4	2,1
Lysimeter 4	41,7	2,7	15,0	2,1	76,9	3,5
Lysimeter 5	40,0	3,5	9,2	0,7	80,5	7,3
Lysimeter 6	35,8	2,9	6,5	0,5	74,4	6,1

Die Drainagewasserabflüsse für den gesamten Messzeitraum variieren zwischen etwa 25 % und 42 % des Niederschlages und die Durchsickerungen etwa zwischen 0,5 % und 3,5 %. Dabei treten während der Sommerhalbjahre rd. 8 % bis 16 % als niederschlagsbezogener Drainageabfluss und rd. 0,3 % bis 2,1 % als ebenfalls niederschlagsbezogene Durchsickerung auf. Die Vergleichswerte für die Winterhalbjahre liegen etwa zwischen rd. 50 % und 80 % für den Drainageabfluss und 0,5 % bis 7,0 % des Niederschlages für die Durchsickerung. Während der Winterhalbjahre sind die Durchsickerungsanteile der Lysimeter 4 bis 6 mit geringmächtigerer Überdeckungshöhe und demnach kleinerer Auflast deutlich höher als die der Lysimeter 1 bis 3 mit höheren Überdeckungen.

2.3 Austrocknung und Wiedervernässung von Bentonitmatten im Lysimeterversuch

Bei der Bewertung der Abdichtungseigenschaften der Versuchsaufbauten in den Lysimetern wird zwischen dem Wirkungsgrad der Bentonitmatte η_{GTD} und der Wirksamkeit des Gesamtsystems η_{System} , der so genannten Systemwirksamkeit, unterschieden. Als Systemwirksamkeit wird hier der Wirkungsgrad aller Schichten der Oberflächenabdichtung einschließlich der

Bentonitmatte, also des Gesamtsystems definiert. Sie wird berechnet, indem die um die Durchsickerung reduzierten Werte der Niederschlagswassermengen auf die Gesamtwerte des Niederschlags bezogen werden. Zweckmäßig ist die Angabe in Prozent. Diese Systemwirksamkeit ist beispielsweise für vergleichende Bewertungen der abdichtenden Wirkung verschiedener Oberflächenabdeckungssysteme und -dichtungsaufbauten eine brauchbare Kenngröße.

$$\eta_{\text{System}} = \frac{N - DS}{N} [\%]$$

es bedeuten:

N = Niederschlag

DS = Durchsickerung

Zu beachten ist bei der oben formulierten Definition der Systemwirksamkeit, dass sich diese auf einen Versuchsaufbau im Lysimeter mit Randüberstand bezieht und somit der Oberflächenabfluss $A_0 = 0$ ist. Die Ergebnisse für das hier untersuchte System sind demnach nicht direkt auf die Bemessung eines Oberflächenabdichtungssystems für eine Deponie übertragbar. Bei steilen Böschungen nimmt A_0 stark zu und der in das Abdichtungssystem eindringende Anteil des Niederschlagswassers nimmt entsprechend ab.

Bei einer separaten Analyse der Dichtungswirkung der Bentonitmatte als Abdichtungselement muss die auf die Bentonitmatte einwirkende Wassermenge, also die Summe der Drainage- und Durchsickerungswassermengen zur Durchsickerung ins Verhältnis gesetzt werden. In Analogie zur obigen Definition der Systemwirksamkeit wird der Wirkungsgrad der Bentonitmatte η_{GTD} wie folgt definiert:

$$\eta_{\text{GTD}} = \frac{(DA + DS) - DS}{DA + DS} [\%]$$

es bedeuten:

DA = Drainage

DS = Durchsickerung

Die Wirkungsgradkenngrößen zur Beurteilung der Abdichtungseigenschaften der Versuchsaufbauten können für unterschiedliche Zeitintervalle ermittelt werden. Als Grundlage für die längerfristige Wirksamkeitsbeurteilung der Abdichtungen wurde zunächst eine Berechnung auf der Basis der aufsummierten Messwerte für hydrologische Halbjahre durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung zeigt sowohl die Systemwirksamkeit und den Wirkungsgrad der Bentonitmatte, wie auch die aufsummierten Wassermengen pro hydrologischem Halbjahr als Säulendiagramme für Lysimeter 1.

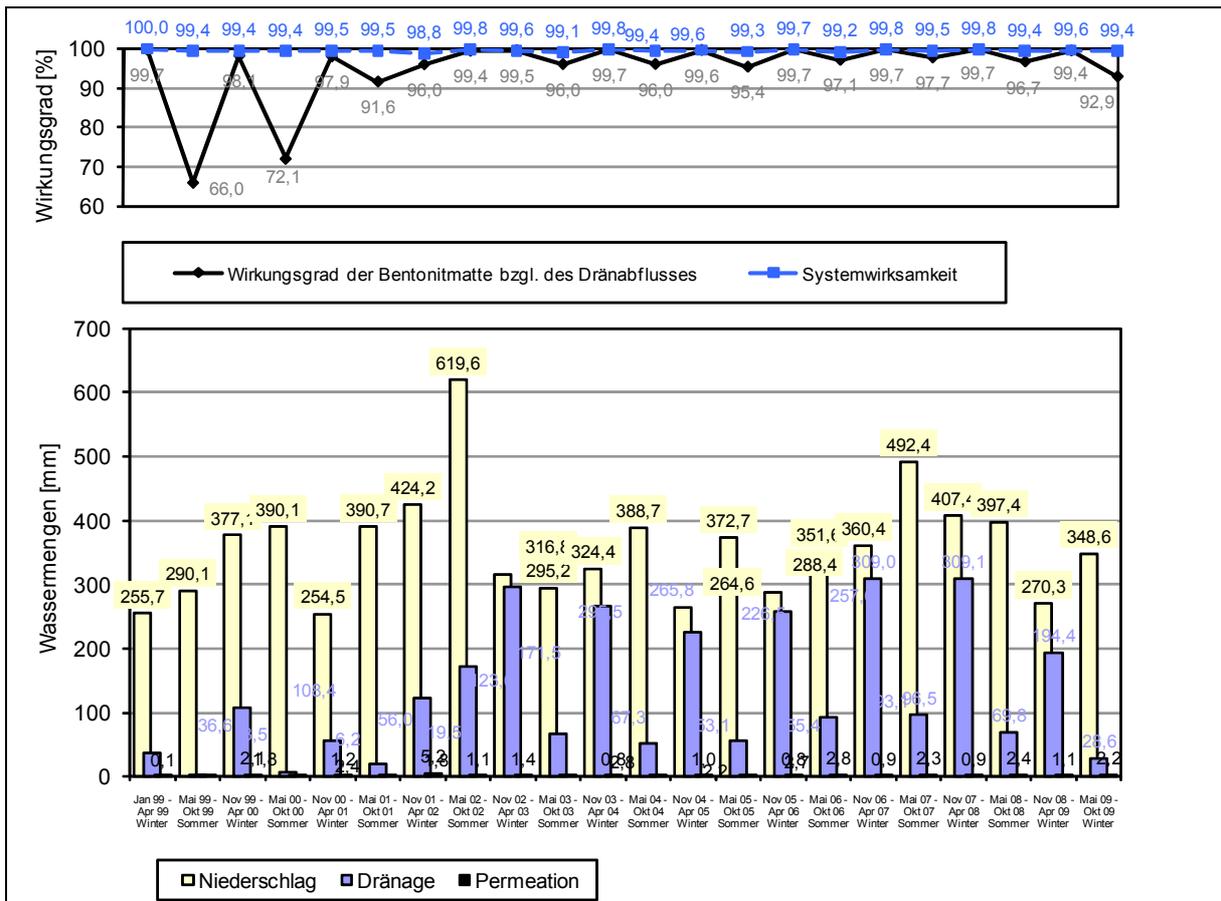


Bild 3: Wassermengen und Wirksamkeiten für Lysimeter 1

Die Systemwirksamkeit bewegt sich auf hohem und annähernd konstantem Niveau zwischen rd. 99 und 100 %. Der Wirkungsgrad der Bentonitmatte zeigt eine andere Charakteristik. Während er im Sommerhalbjahr aufgrund sehr kleiner Dränagewassermengen auf bis zu 66 % abfällt, wird in jedem Winterhalbjahr wieder eine sehr gute Dichtungswirkung erreicht. Das bedeutet, dass eine Erhöhung der hydraulischen Belastung der Bentonitmatte auch zu einer Erhöhung der Dichtungswirkung führt. Das Absinken des Wirkungsgrades der Bentonitmatte lässt in der Phase vor dem Umbau auf eine erhöhte Wasserdurchlässigkeit der Bentonitmatte schließen. Deutlich wird vor allem bei diesem Lysimeter, dass nach dem Umbau

im Juli 2002 nur noch geringe Schwankungen der Wirksamkeit der Bentonitmatte und kaum Schwankungen der Systemwirksamkeit mehr festzustellen waren. Die zunächst erkennbaren Austrocknungs- und Wiedervernässungsmechanismen, die sich auch für das Lysimeter 3 deutlich abzeichnen, sind im Zuge der Überschüttung mit einer vergleichsweise durchlässigen Sandschicht abgestellt worden.

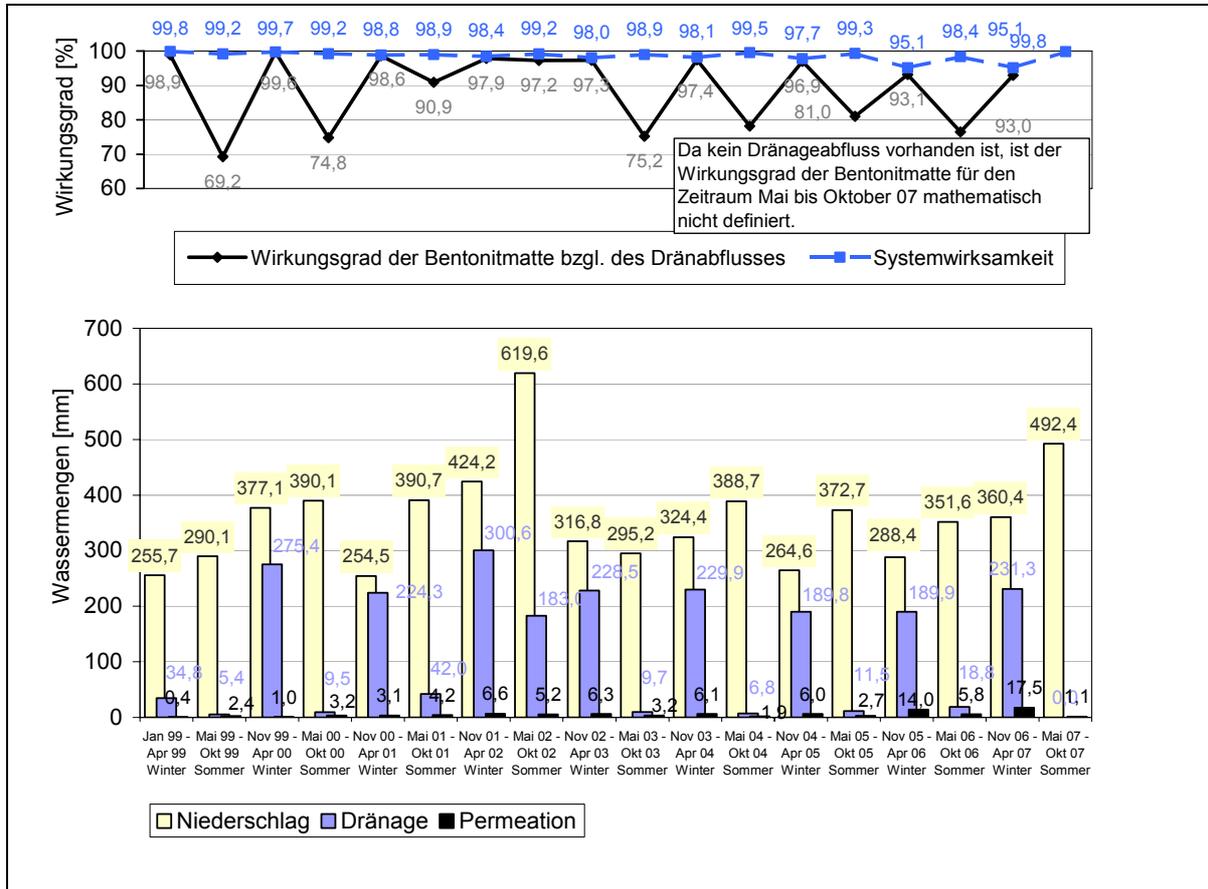


Bild 4: Wassermengen und Wirksamkeiten für Lysimeter 3

Besonders prägnant zeigen sich die bereits erläuterten Phänomene anhand der Auswertung der gemessenen Abflüsse des Lysimeters 3, welches seit Beginn der Messwerterfassung keinerlei Umbaumaßnahmen erfahren hat. Die Daten ergeben auch hier für den Wirkungsgrad der Bentonitmatte eine Linie mit einer ausgeprägten „Zackenform“. In den Sommerzeiträumen sinken die Werte fallweise deutlich ab, um im Winter mit entsprechend hohen Dränagewasserabflüssen auf maximal 93 % bis annähernd 100 % wieder anzusteigen.

3 Bodenmechanische Mechanismen bei der Risschließung nach Austrocknung und Wiedervernässung

Nachfolgend werden die bodenmechanischen Mechanismen, die bei der Wiedervernässung von Bentonitmatten und der nachfolgenden Reduktion der Durchsickerungswassermengen maßgebend sind, identifiziert und analysiert. Hierzu werden zunächst austrocknungsbedingt entstandene Risse in einer dünnen Bentonitschicht modelliert. Hinsichtlich der Wiedervernässung müssen dann zwei Grundmechanismen unterschieden werden, die bei der Risschließung im Bentonit gemeinsam wirken:

1. Quellvorgänge, die zu einem Ausfüllen des Rissvolumens führen;
2. Auflastabhängige Plastifizierungen, die aufgrund der mit zunehmendem Wassergehalt konsistenzbedingt abnehmenden Scherfestigkeit des Bentonits an den Rissflanken zu Verformungen und Risschließung führen.

Der prinzipielle Mechanismus zur Risschließung und der dafür notwendigen Plastifizierung einer Bentonitschicht lässt sich vereinfacht mit dem zweidimensionalen Finite-Elemente-Programm PLAXIS modellieren und visualisieren. Das geometrische Modell umfasst eine Bentonitschicht oberhalb einer Basisschicht mit sehr hoher Steifigkeit. Die Plastifizierung der Bentonitschicht infolge von Wasseraufnahme wird durch stufenweise Änderung der Scherparameter und somit der Scherfestigkeit während der verschiedenen Phasen ermittelt. Dabei wurde zur Erfassung der Plastifizierung des Bentonits infolge zunehmenden Wassergehalts vereinfachend das im Programm verfügbare Stoffgesetz von Mohr-Coulomb verwendet. Die Scherfestigkeitsparameter werden im Sinne einer fiktiven Wiedervernässung solange stufenweise reduziert, bis bei der jeweilig betrachteten Auflastspannung eine Plastifizierung des Bentonits bzw. ein Bruch infolge von Schubspannungen im Bereich der Rissufer stattfindet und somit eine auflastinduzierte Risschließung möglich wird.

Die Dicke der Bentonitschicht beträgt im Modell etwa 10 mm und die Rissbreite etwa 4 mm, wobei letztere für die Berechnungsergebnisse keine Bedeutung hat. Die Plastifizierung wird für folgende drei Auflastvarianten berechnet:

Variante A: rd. 0,5 m Überdeckung, Auflastspannung $\sigma_{AA} = 10 \text{ kN/m}^2$

Variante B: rd. 1,0 m Überdeckung, Auflastspannung $\sigma_{AB} = 20 \text{ kN/m}^2$

Variante C: rd. 2,0 m Überdeckung, Auflastspannung $\sigma_{AC} = 40 \text{ kN/m}^2$

Bei der Berechnung von Verformungen wird die vorgegebene Belastung stufenweise aufgebracht, wobei das FE-Programm die Größe der Berechnungsschritte wählt. Durch Iteration wird der Gleichgewichtszustand hergestellt. Die Berechnung wird dann beendet, wenn die vorgegebene Belastung erreicht ist oder wenn ein Versagen des Materials durch Plastifizierung eintritt. Der Versagensfall wird dann angenommen, wenn die aufgebrachte Belastung in zwei aufeinanderfolgenden Berechnungsschritten reduziert werden musste, um Gleichgewicht zu erzielen.

Zur Visualisierung der plastifizierten Bereiche werden so genannte plastische Punkte dargestellt. Hierbei handelt es sich um Punkte im Modell, in denen Plastifizierung eingetreten ist, und die in der Darstellung als rote Quadrate sichtbar gemacht werden. Die Verformungen und deren Beträge werden anhand von Richtungspfeilen unterschiedlicher Länge visualisiert.

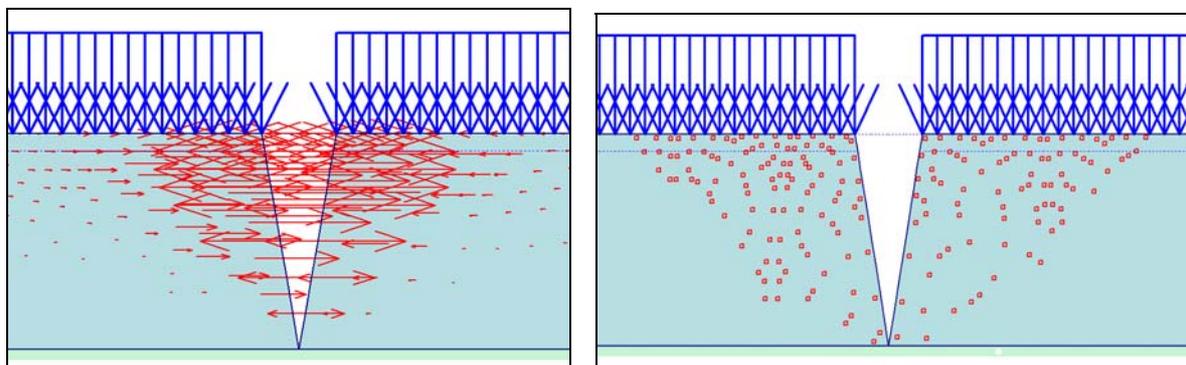


Bild 5: Horizontalverformungen

Plastifizierte Bereiche (plastic points)

Um die Berechnungsergebnisse auch quantitativ bewerten zu können, ist die Korrelation der Scherfestigkeitswerte zu den jeweiligen Wassergehalten einer Natriumbentonitmatten nach Austausch der Ionenbelegung zu Calcium wichtig. Zur Erstellung einer zuverlässigen Korrelation zwischen Scherfestigkeit und Wassergehalt des Bentonits sind experimentelle Untersuchungen im Labor erforderlich, die weiteren Forschungsaktivitäten auf diesem Gebiet vorbehalten bleiben.

Zur groben Einordnung der gezeigten Berechnung der riss-schließungsrelevanten Auflast-Scherfestigkeits-Kombinationen ist es möglich, die zugehörigen Wassergehalte abzuschätzen und Werte aus der Literatur heranzuziehen. Nach HVORSLEV (1960) besteht Proportionalität zwischen der undrainierten Kohäsion c_u und der äquivalenten Spannung σ_e .

Die Tabelle 3 zeigt die zur Rissschließung notwendigen Scherfestigkeiten für die jeweiligen Auflastvarianten sowie die grobe Abschätzung der zugehörigen Wassergehalte.

Tabelle 3: Daten des Bentonits für die drei Auflastvarianten bei Rissschließung (Plastifizierung bzw. Bruch)

Auflastvariante und Auflastspannung σ [kN/m ²]	Wassergehalt w [%] berechnet nach HVORSLEV(1960)	Scherfestigkeit τ [kN/m ²]	Konsistenzzahl I_c und Konsistenzbezeichnung gemäß Kapitel 2 [-]
A	130	4,8	rd. 0,2 (breiig)
B	85	10,6	rd. 0,6, (breiig bis weich)
C	40	24,3	rd. 0,9, (steif)

4 Austrocknungsschutz von Bentonitmatten unter Verwendung eines stark durchlässigen Rekultivierungsmaterial

Wie bereits erläutert, wurde im Lysimeter 1 als Rekultivierungsmaterial im Juli 2002 ein grobsandiger Mittelsand mit den in Kapitel 2 beschriebenen Materialkennwerten eingebaut. Im Anschluss an die Umbauarbeiten ging mit der Erhöhung der Dränagewassermengen sehr prägnante Reduzierung der Durchsickerungswassermengen einher (Bild 6).

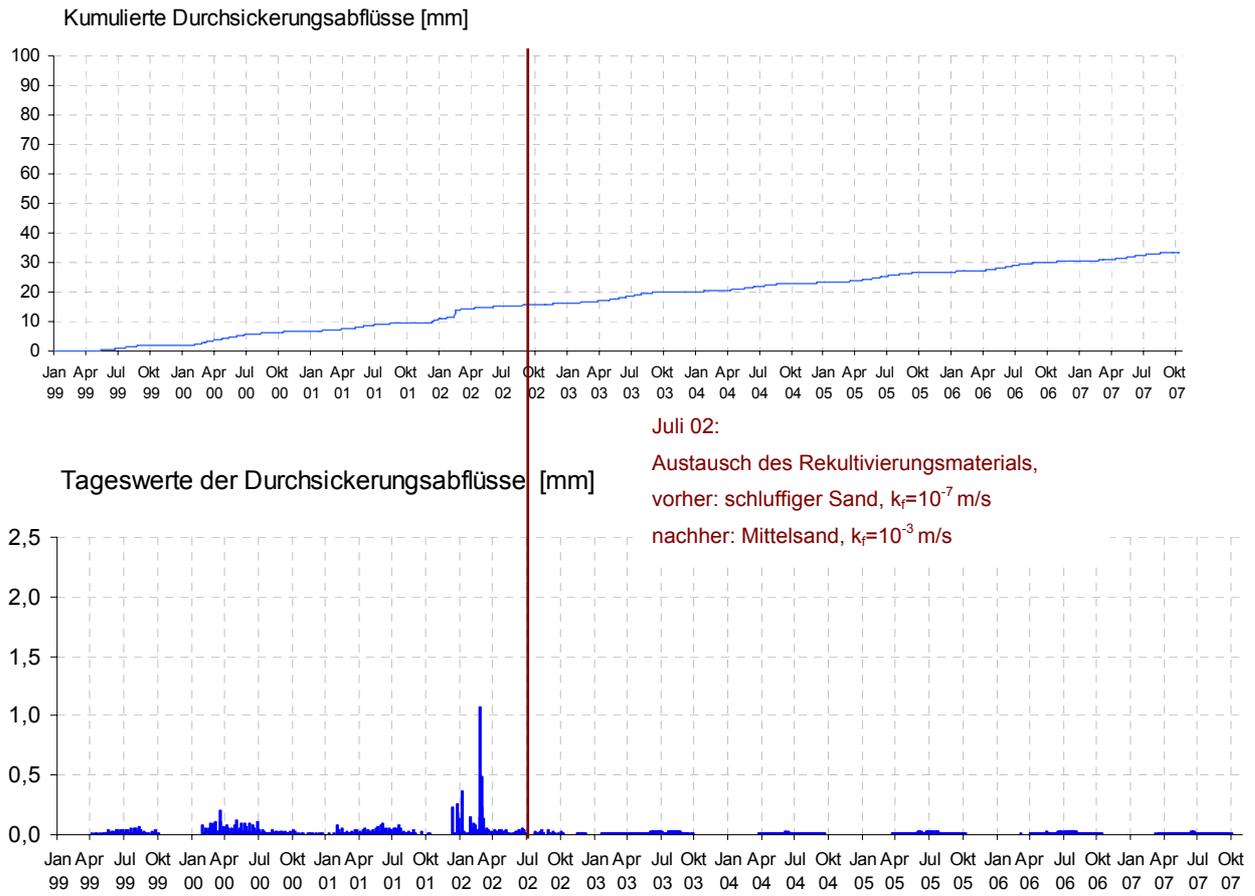


Bild 6: Kumulierte Durchsickerungswasserabflusswerte und Tageswerte von Januar 1999 bis Oktober 2007 für Lysimeter 1

Wie in Kapitel 2.3 erläutert wurde, bleiben die bei allen anderen Lysimetern beobachteten Austrocknungs- und Wiedervernässungsmechanismen nach Einbau der stark durchlässigen Sandschicht aus. Aus diesem Grund wurde im Zuge einer verfeinerten Datenanalyse untersucht, inwieweit das Abdichtungsverhalten von Bentonitmatten im Lysimeter durch Zeiträume beeinflusst wird, in welchen aufgrund ausbleibender Dränagewasserabflüsse keine Befeuchtung der Bentonitmatte aus der Dränageschicht stattfindet. Diese Zeiträume werden nachfolgend als Trockenzeiten bezeichnet. Bild 7 zeigt hierzu ein entsprechendes Diagramm. Dabei wurden diejenigen Tage seit Juli 2001 addiert, an welchen der Dränagewasserabfluss kleiner als 0,01 mm war.

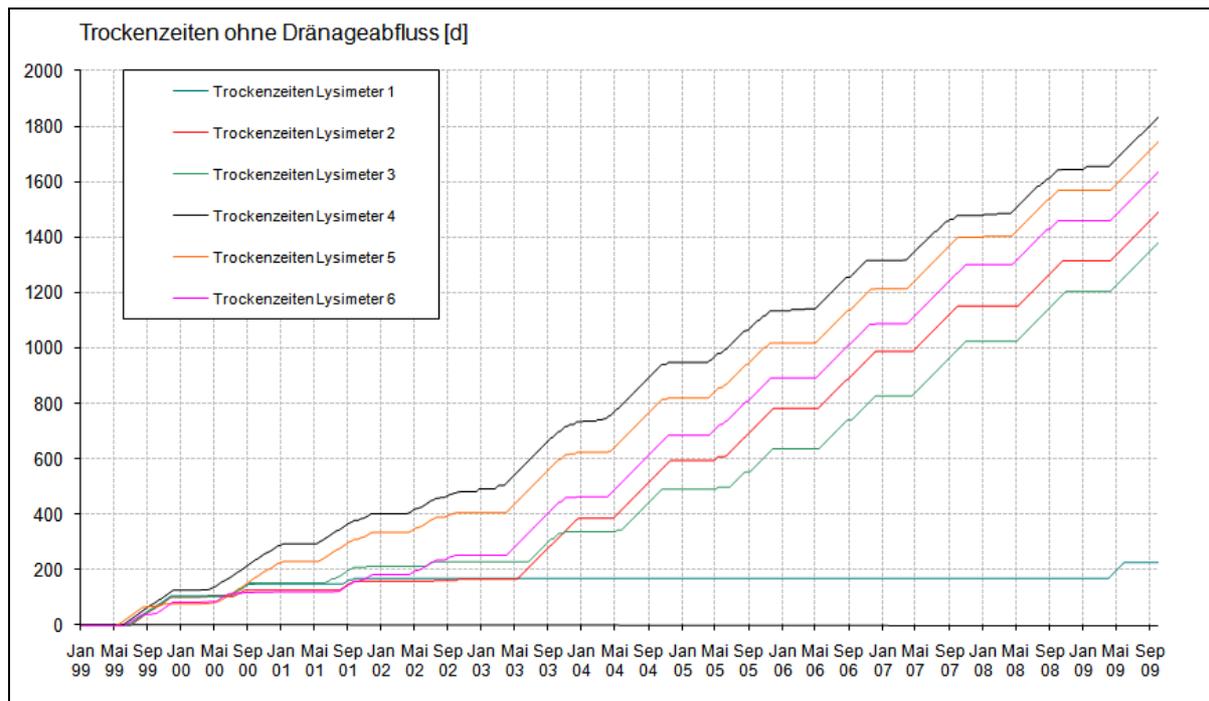


Bild 7: Trockenzeiten ohne Drainagewasserabfluss für Lysimeter 1 bis 6

Es ergeben sich überwiegend stufenförmige Kurven, welche sich an den Jahreszeiten orientieren. Die Lysimeter 4 bis 6 mit geringmächtigeren Überdeckungen der Dichtungsschicht zeigen dabei eine etwas höhere Anzahl dränageabflussfreier Tage als die Lysimeter 1 bis 3. Das Lysimeter 1 zeigt seit dem Umbau und dem Einbau eines stark durchlässigen Sandes keine Tage ohne Drainageabfluss mehr. Die Bentonitmatte in diesem Lysimeter ist dadurch offensichtlich vor Austrocknung besser geschützt. Dies zeigen auch die sehr hohen und annähernd gleich bleibenden Werte der Systemwirksamkeit und des Wirkungsgrads der Bentonitmatte, die in Bild 6 dokumentiert wurden.

Eine Überdeckung der Bentonitmatte mit einem schluffigen Material, dem eine hohe Wasserspeicherkapazität zugeschrieben werden kann, erfolgt oftmals mit dem Ziel, das gespeicherte Wasser in niederschlagsarmen Zeiten der Bentonitschicht zur Verfügung stellen zu können. Die oben erläuterten Feststellungen zeigen jedoch, dass dieses Wasser nicht in dem angestrebten Maße der Bentonitmatte zur Verfügung steht, sondern primär den Mechanismen der Evapotranspiration unterliegt.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die rd. zehnjährigen Feldmessungen mit klimatisch bedingten Austrocknungs- und Wiedervernässungsphasen zeigen die Reversibilität der Dichtungswirkung nach Austrocknung und Wiedervernässung für Bentonitmatten in Systemen mit ausreichender Auflast. Eine Überschüttung mit einer rd. einem Meter dicken, locker gelagerten Sandschicht hat einen langfristigen Austrocknungsschutz der Bentonitmatte zur Folge.

Zur numerischen Modellierung der Rissschließung durch Plastifizierung einer dünnen Bentonitschicht unter Auflast wurden Untersuchungen mit dem Finite-Elemente-Programm PLAXIS vorgenommen. Die Scherfestigkeit der mit einem Riss modellierten Bentonitschicht wurde unter verschiedenen konstanten Auflastspannungen im Sinne einer simulierten Wiedervernässung stufenweise reduziert, bis eine Plastifizierung des Materials eintrat, bzw. ein Bruchzustand im Bereich der Rissflanken. Die Ergebnisse erklären die Fähigkeit der Bentonitmatten unter ausreichenden Auflastspannungen nach ausgeprägten Trockenphasen wieder zu Dichtungswirksamkeiten auf hohem Niveau zurückzufinden. Die Mächtigkeit der Überdeckung muss mindestens 1 m betragen, um die erforderliche Mindestauflastspannung zu erreichen.

Die Ergebnisse der Lysimeteruntersuchungen zeigen langfristig eine Verschlechterung der Dichtungswirksamkeit für eine Bentonitmatte mit granuliertem Material. Weiterführende Untersuchungen werden sich mit dieser speziellen Thematik auseinandersetzen. Die Fähigkeit verschiedener Bentonitmaterialien zur Rissschließung wird derzeit mit der pinhole-Versuchsmethode bei niedrigem hydraulischen Gefälle untersucht.

6 Literatur

- | | | |
|--------------------------|------|---|
| BLÜMEL, W.; | 2002 | Lysimeteruntersuchungen zu Wasserdurchlässigkeit und –haushalt an Deponieabdichtungssystemen mit Bentonitmatten, in: Geotechnik 25 (2002) Nr. 4 Seiten 261-270 |
| MÜLLER-KIRCHENBAUER, A.; | | |
| MARKWARDT, N. | | |
| HENKEN-MELLIES, U.; | 2007 | Langzeituntersuchung mineralischer Oberflächenabdichtungen, Ergebnisse der Testfelder auf der Deponie „Im Dienstfeld“ / Bayern, Müll und Abfall, Heft 10, S. 476-482 |
| SCHWEIZER, A. | | |
| BENSON, C.; | 2007 | Hydraulic Conductivity of Geosynthetic Clay Liners Exhumed from Landfill Final Covers, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, MAY 2007 |
| MEER, S. | | |
| HVORSLEV, M. J. | 1960 | Physical Components of the Shear Strength of Saturated Clays, Proceedings ASCE Research Conference on the Shear Strength of Cohesive Soils, Boulder Colorado, 1960, pp. 169-273 |